磷氟耦合产业园发展浅析

刘帅杰

（新洋丰农业科技股份有限公司，湖北 荆门 448000）

［摘 要］磷氟耦合产业园是实现磷化工与氟化工产业协同、高效发展的重要模式。阐述磷氟耦合产业园以湿法磷酸副产氟硅酸为原料来源，耦合于成熟磷化工产业链的基本特征，及其在技术、市场和政策驱动下的兴起背景。通过梳理贵州、云南、湖北等主要磷资源区的建设实例，总结当前产业园的发展现状与特点。重点剖析磷氟耦合产业园在氟资源可持续性、生产要素成本及产业链协同方面的优势，并指出其在技术积累、市场开拓、氟化氢产能及管理模式等方面面临的挑战。最后针对性地提出精细规划产业布局、加强技术研发与引进、集聚区域氟资源以及提升精细化管理水平等发展建议，以期为我国磷氟耦合产业园的健康发展提供参考。

［关键词］磷氟耦合产业园；氟硅酸法；资源综合利用；协同发展；新能源材料

［中图分类号］TQ124.3；TQ126.3 ［文献标志码］A ［文章编号］2097-4566（2025）12-0069-05

Analysis of development of phosphorus-fluorine coupling industrial parks

LIU Shuaijie

（*Xinyangfeng Agricultural Technology Co., Ltd., Jingmen* 448000, *China*）

Abstract: The phosphorus-fluorine coupling industrial park is a crucial model for achieving coordinated and efficient development in the phosphorus chemical and fluorine chemical industries. The fundamental characteristics of phosphorus-fluorine coupling industrial parks are elaborated, which utilize fluosilicic acid—a byproduct of wet-process phosphoric acid—as a raw material source and integrate into mature phosphorus chemical industrial chains. The background of their emergence driven by technology, market and policy factors are discussed. By reviewing construction cases in major phosphorus resource regions such as Guizhou, Yunnan and Hubei, the current development status and features of these industrial parks are summarized. Key advantages of phosphorus-fluorine coupling industrial parks are analyzed in terms of fluorine resource sustainability, production factor costs and industrial chain synergy, while challenges in technology accumulation, market expansion, hydrogen fluoride production capacity and management models are identified. Finally, targeted development recommendations are proposed, including refined industrial layout planning, enhanced technology research and development and introduction, regional fluorine resource aggregation, and improved refined management practices, aiming to provide references for the healthy development of phosphorus-fluorine coupling industrial parks in China.

Key words: phosphorus-fluorine coupling industrial parks; fluosilicic acid method; comprehensive utilization of resource; coordinated development; new energy materials

过去因萤石与磷矿资源分布的区域差异，以及技术发展水平所限，磷化工产业园与氟化工产业园分布在不同区域而且相交较少。近些年来，随着氟硅酸法氟化氢技术的发展，磷氟资源的区域差异化被打破，氟化工产业开始由萤石资源丰富的区域逐步向磷矿资源丰富的区域发展[1]。在此推动下，磷氟协同发展成为磷化工行业发展的新方向[2]。磷氟耦合产业园应运而生，并成为磷氟协同发展的重要载体。

1 基本情况

磷化工、氟化工都属于资源要素型行业，这决定了氟化工产业园与磷化工产业园，均是围绕资源端集聚发展。但无论是磷化工产业园还是氟化工产业园，其磷氟资源都直接来源于开采出来的矿石，因此其产业发展各具独立性。而磷氟耦合产业园的

［收稿日期］2025-07-21

［作者简介］刘帅杰（1994-），男，山西忻州人，工程师，从事精细化工及新能源材料研究。

氟来源却是湿法磷酸生产过程中副产的氟硅酸，这相当于是一种“间接来源”。这决定磷氟耦合产业园必须依托磷化工来发展。磷氟耦合产业园正是在磷化工产业链的基础上，以氟硅酸为原料生产氟化氢，并向下游拓展氟化工产品而形成。磷氟耦合产业园产业链如图 1 所示。

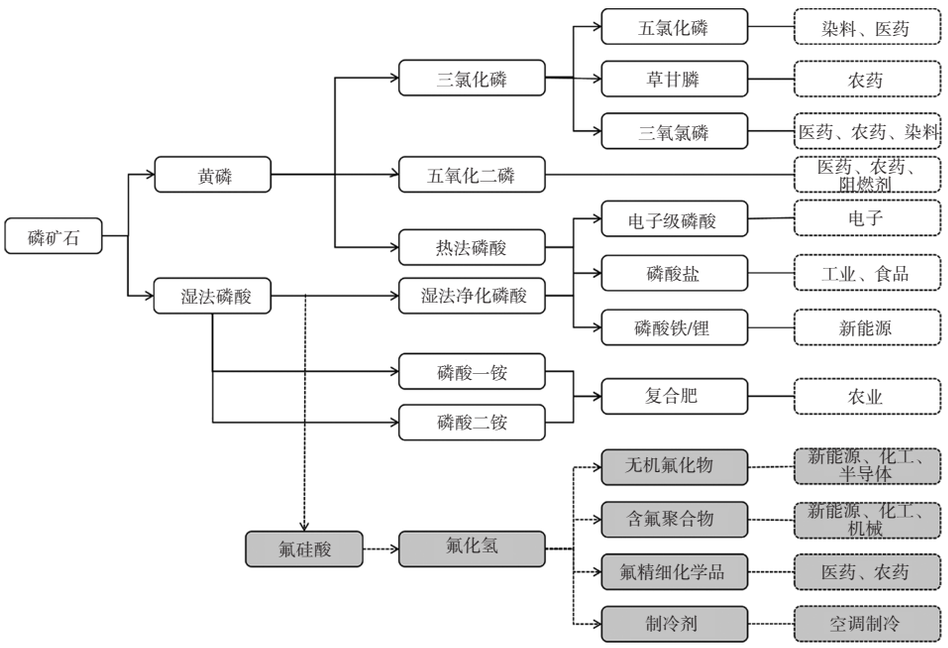


图 1　磷氟耦合产业园产业链

Fig. 1　Industrial chain of phosphorus-fluorine coupling industrial parks

磷氟耦合产业园的出现得益于技术、市场与政策的驱动。技术层面，以瓮福（集团）有限责任公司、多氟多新材料股份有限公司（简称多氟多）等为代表的氟硅酸法生产氟化氢工艺的成熟与推广，让磷化工企业拥有了布局氟化工产业的基础[3-4]；市场层面，近些年新能源市场发展迅速，而许多磷系材料、氟系材料是新能源产业发展过程中不可或缺的原料，譬如正极材料磷酸铁/锂、电解质六氟磷酸锂、黏结剂聚偏氟乙烯等，这成为磷化工企业进行产业转型发展的重大机遇[5]；政策层面，工业和信息化部等八部门于 2023 年 12 月发布《推进磷资源高效高值利用实施方案》，明确提出要“立足区域基础，打造优势集群”，并“鼓励云贵鄂川立足资源能源禀赋、产业基础条件、环境承载能力等，以化工园区为载体，……构建以新型功能磷复肥为基础、以高端精细磷化工为特色、与含氟新材料相耦合的区域间优势互补、上下游协同配套、横向共生耦合的产业格局”，为磷氟耦合产业园的发展提供了明确指引。

2　发展现状

磷氟耦合产业园的发展处于起步阶段。从公开信息来看，随着贵州磷化（集团）有限责任公司（简称贵州磷化）、湖北宜化化工股份有限公司（简称湖北宜化）、云南云天化股份有限公司（简称云南云天化）、新洋丰农业科技股份有限公司（简称新洋丰）、湖北祥云（集团）化工股份有限公司（简称湖北祥云）等大型磷化工企业推动氟化工业务的布局，磷氟耦合产业园在贵州、湖北、云南等磷资源丰富的区域开始逐步成型。其中，贵州省开阳县是我国重要的磷化工产业基地，不仅磷化工产业规模大，而且布局氟化工产业较早，已初现规模。开阳县工业园区以贵州磷化为核心，已形成 7 万 t/a 无水氟化氢、1 万 t/a 六氟磷酸锂等产能。同时，还引进安徽省司尔特肥业股份有限公司投资建设磷氟新材料矿化一体化产业园项目，配套磷化工项目布局 2 万 t/a 氟系新材料产能[6]。在云南安宁工业园，多氟多和云南云天化合作成立云南氟磷电子科技有限公司，相继建设了 2 万 t/a 电子级氢氟酸、0.5 万 t/a 六氟磷酸锂、2.5 万 t/a 无水氟化氢等项目。贵州磷化与云南祥丰化肥股份有限公司合作成立云南瓮福祥丰氟硅新材料有限公司，在园区建设了 3 万 t/a 氟化氢与 2 万 t/a 电子级氢氟酸装置[7]。在湖北省宜昌市姚家港工业园，依托园区丰富的湿法磷酸产能，湖北宜化与多氟多合作建设华中氟硅产业园项目，以湖北宜化氟化工有限公司为主体分两期建设 6 万 t/a

无水氟化氢项目，湖北氟硅宜成新材料有限公司投资建设磷肥副产氟资源综合利用即产业链延伸项目，包含2万t/a电子级氢氟酸、3万t/a无水氟化铝，并同步规划2万t/a六氟磷酸锂、高纯四氟化硅等产品。湖北三宁化工股份有限公司亦在该园区布局建设3万t/a无水氟化氢项目。除此之外，新洋丰在荆门市东宝区化工循环产业园，建设3万t/a无水氟化氢项目，并规划向下游延伸氟深加工产品。湖北祥云与中国五环工程有限公司合作新建中化学新祥云新材料产业园，致力于形成磷、氟、煤基新材料交叉耦合的全产业链体系，其中氟化工板块规划建设6万t/a无水氟化氢、3万t/a电子级氢氟酸产能。贵州磷化拟投资40亿元在达州高新区建设磷氟新材料循环经济产业园项目，其中，除规划精细磷酸盐、中高端复合肥及水溶肥等磷化工项目外，还将建设5万t/a高纯无水氟化氢、4万t/a电子级氢氟酸生产线。

与传统的氟化工产业园相比较，磷氟耦合产业园具有以下鲜明的特点（见表1）：其一，氟化工产业园以萤石资源开发为起点，发展时间较早，氟化工产业发展较为成熟；磷氟耦合产业园以氟硅酸法为起点，氟化工产业尚处于起步阶段。其二，氟化工产业园是以氟化工产业链为主链进行发展；而磷氟耦合产业园在长期发展过程中已形成了以磷化工产业链为主链，配套大量基础化工原料的发展局面，氟化工产业是作为一个支链耦合到现有成熟的磷化工产业链条中。其三，氟化工产业园通常能够涵盖多种类型的氟化工产品，譬如含氟精细化学品、含氟高分子材料、含氟无机物、制冷剂等，产品产能较大，氟化工产业链布局完善[8]；磷氟耦合产业园虽通过氟硅酸法可生产氟化氢，但氟化氢产能相对较小，无法满足大规模多品类布局氟化工产品的需求，只能围绕部分氟化工产品进行发展，属于小型的“氟化工产业园”。其四，氟化工产业园在各个产业环节集聚了大量氟化工企业，上下游相互协调分工；磷氟耦合产业园中大型磷化工企业扮演关键角色，通过自建或合作方式发展氟化工业务，目前氟化工企业集聚极少。

表1　氟化工产业园与磷氟耦合产业园的比较

Table 1　Comparison between fluorine chemical industrial parks and phosphorus-fluorine coupling industrial parks

项目	氟化工产业园	磷氟耦合产业园
发展阶段	氟化工产业处于成熟阶段	氟化工产业处于起步阶段
核心资源	以萤石资源为核心	以磷矿伴生氟资源为核心
产业链地位	以氟化工产业链为主链发展	以磷化工产业链为主链发展,氟化工产业链属于支链
生产技术	氟化工技术路线多,生产难度高	氟化工技术路线一般比较单一
产品类型	涵盖氟化工产品类型多,规模大	目前以无机氟化物为主,产品种类及规模受限
生产企业	以氟化工企业为主,数量众多	以大型磷化工企业为主,氟化工企业集聚较少

3　优劣势分析

3.1　优势

3.1.1　氟资源可持续性

氟资源的可持续性是磷氟耦合产业园发展的最大优势。氟化工产业园依托萤石资源发展，而根据USGG（美国地质调查局）统计，2023年我国萤石储量仅6 700万t，按照2023年萤石产量570万t计算，静态储采比不足12年[9]；而磷氟耦合产业园依托磷矿中的氟来发展。据USGG统计，2023年我国磷矿资源储量约36.9亿t，以2023年我国磷矿石产量1.05亿t计，其静态储采比约35年，远高于萤石。若以磷矿中w(F)平均3%来计，磷矿中的氟估算达1亿t以上，远高于萤石中的氟含量[10]。资源端的保障使磷化工的发展更具持续性，也保障了磷化工副产而来的氟硅酸的持久供应。

3.1.2　生产要素成本优势

传统发展成熟的氟化工产业园多分布于浙江、福建、山东等地，而磷氟耦合产业园则位于磷矿资源丰富的贵州、云南、湖北、四川等地。前者由于化工产业起步早、发展快，化工产业规模大，集聚企业多，环境保护政策严格，目前面临化工用地少、能耗指标及环境容量指标短缺等难题。相较而言，贵州、云南、湖北等地化工产业属于后发型，在用地及环境指标等方面具有优势。此外，在用电、蒸汽、天然气等生产要素成本上也具有一定竞争力。而且，磷氟耦合产业园还具有原材料的成本优势。磷氟耦合产业园的氟化氢采用氟硅酸法生产，相较于氟化工产业园普遍采用的萤石法来说成本更低[7, 11]；硫酸、硝酸、合成氨等其他原材料在采购及运输成本方面亦具有一定优势。

3.1.3 产业链协同性

磷氟耦合产业园往往具有完整且成熟的磷化工产业链，不仅规模较大，且产业链一体化程度高。在原材料端，磷化工企业多数配套了一定规模的硫酸、硝酸、合成氨及副产蒸汽等基础原料，而这些原料又是氟化工生产过程中必不可少的原料[5]。譬如氟硅酸法生产氟化氢需要浓硫酸，某些含氟中间体生产时的胺化、硝化反应需要硝酸、氨水等，以及化工生产普遍使用到的蒸汽等。这些都可以由磷化工项目直接通过管道输送到氟化工项目，减少了原材料采购及运输成本。在副产物处理端，磷化工凭借规模较大的磷酸、磷肥装置也可对氟化工产生的部分副产物进行消纳[1]。譬如，氟硅酸法生产氟化氢以及部分含氟精细化学品时会副产稀硫酸，这些副产稀硫酸可回用到磷酸生产系统中，从而极大降低了副产物处理成本；许多氟化工产品譬如六氟磷酸锂等在生产过程中会副产大量盐酸，而部分大型磷化工企业为消纳曼海姆硫酸钾及硫基复合肥副产的盐酸，也建设了氯化钙或聚合氯化铝等副产盐酸综合利用项目[12-13]，这对氟化工副产盐酸的消纳也能起到一定作用。此外，很多大型磷化工企业也布局了磷酸铁/锂等正极材料，这与六氟磷酸锂等氟化工产品同属于新能源行业，随着新能源材料业务的拓展与成熟，两者在市场端也能形成一定的协同性[3]。

3.2 劣势

3.2.1 技术能力较弱

磷氟耦合产业园以磷化工企业为主体，这些企业尽管深耕磷化工技术，但氟化工与磷化工在产业布局、技术路线上存在较大差异，磷化工企业通常没有氟化工领域的技术积累与沉淀，也缺乏相应的专业技术与研发人才。同时，氟化工下游深加工产品又具有较高的技术门槛，反应过程复杂，产品质量要求高，涉及各种核心配方及技术秘密。磷化工企业很难在短时间内通过组建专业的研发团队及体系，突破并掌握核心技术。技术能力上的弱势一定程度上阻碍了磷氟耦合产业园在氟化工产业链上的深度延伸与产业生态的快速发展。

3.2.2 市场开拓难度高

从目前磷氟耦合产业园的发展现状来看，大部分企业对电子级氢氟酸、六氟磷酸锂、氟化铝等无机氟化物进行了重点布局。无机氟化物的产业链深度与生产难度相较于含氟聚合物、含氟精细化学品而言较低，但相应的市场参与主体更多、市场竞争更为激烈，产能过剩更严重。同时，大多数磷化工企业还属于氟化工“新人”，市场渠道积累较少，且部分氟化工产品销售时必须经历严格的产品验证环节，流程上更为烦琐复杂。市场信号好坏往往直接影响磷化工企业在氟化工领域布局的决心与速度，以及磷氟耦合产业园的自我造血能力，关系着磷氟耦合产业园的持续与稳健发展。

3.2.3 氟化氢产能规模小

我国磷矿中的氟资源储量虽然相较于萤石具有优势，但必须经过对湿法磷酸副产的氟硅酸进行回收及系列化学反应才能转化为氟化氢。受磷化工企业的规模实力、从磷酸中回收氟的技术水平等因素影响，总体上氟硅酸资源的供应量是受限的[14]。譬如很多中小型磷化工企业由于湿法磷酸装置规模小或资金实力弱，没有对磷酸中的氟进行回收；或者即便回收了部分氟，但用于生产氟硅酸盐等效益较差的产品。这就导致氟硅酸法氟化氢的产能规模相对较小，一定程度上影响了磷氟耦合产业园中氟化工产业链的拓展与规模壮大。

3.2.4 管理模式粗放

磷复肥是磷化工产业的重点领域，也是磷化工产业园的主要业务板块。据统计，2023 年我国有 57%的磷矿消耗在磷复肥生产端[15]。而磷复肥属于大化工领域，比较注重其大规模的生产能力，装置产能往往达几十万吨以上，对于生产管理、作业环境及产品指标的要求没有精细化工产业高，因此在长期发展过程中形成了相对粗放的管理模式。氟化工属于精细化工领域，生产过程的复杂性、高危工艺的密集性、生产管理的精细化程度均较高，部分高端产品甚至对作业环境也有严苛要求[16]。当在磷化工产业链中嵌入氟化工产业链时，如何从粗放式管理模式有效转化为适应氟化工产业发展的精细化管理模式，对于磷氟耦合产业园的发展来说也是一个不小的挑战。

4 发展建议

4.1 精细规划氟化工产业

受氟化氢产能规模小等限制，磷氟耦合产业园无法像氟化工产业园一样，实现对氟化工产业链的较全面布局。因此，磷氟耦合产业园必须精细规划氟化工产业，结合本地及周边地区产业发展、资源禀赋、市场需求等情况，重点聚焦几个氟化工产品进行规划布局，形成差异化发展，避免产业布局出现“散、乱、大”的局面，从而对磷氟耦合产业园的发展方向、政府部门的招商工作提供明确指引。以湖北省荆门市为例，该地在新能源发展浪潮下，

积极引进了锂电池龙头企业亿纬锂能科技股份有限公司，并以此吸引了新宙邦科技股份有限公司、恩捷新材料股份有限公司、科达利实业股份有限公司等企业布局，形成了较为完善的锂电产业链。但是，荆门作为传统磷化工发展区域，在氟化工产业方面缺少布局。基于此，《荆门市化工产业高质量发展规划（2024—2030年）》明确提出，“以新洋丰规划建设无水氟化氢为契机，规划建设六氟磷酸锂、双氟磺酰亚胺锂等电解液电解质项目”，以实现对本地锂电产业链的“补链”。

4.2　鼓励技术研发与引进

针对磷氟耦合产业园技术能力较弱的情况，一方面政府及园区管理方应出台具体政策鼓励磷化工企业引进人才团队，聚焦氟硅酸回收技术、氟化工重点产品生产工艺等方向进行研发与攻关，形成具有自主知识产权的技术工艺；另一方面，积极引进具有技术优势、建设项目符合园区产业规划方向的氟化工企业落地园区，实现氟化工企业的技术、市场优势与磷化工企业的资源优势互补。同时，积极撮合具有氟化工领域专业的科研院校与地方政府、园区或磷化工企业共建技术研发平台，给予科研课题与资金倾斜以支持氟化工技术研发，为磷氟耦合产业园的发展提供技术支持。

4.3　集聚区域氟资源优势

氟硅酸资源是磷氟耦合产业园发展壮大的基础。政府及园区管理方应对本区域氟硅酸的产生、回收与利用方式进行深入调研与统计分析，在了解区域氟硅酸情况的基础上，对氟硅酸的利用进行统一筹划。对于建设了氟化氢项目的大型磷化工企业，鼓励其在湿法磷酸项目上全面配套氟硅酸回收装置，提升氟硅酸回收水平；对于氟硅酸产量不足以支持建设氟化氢项目的中小型磷化工企业，通过与大型磷化工企业建立合作等多种措施，鼓励其对氟硅酸进行回收，避免资源浪费，并通过市场交易的方式将氟硅酸流转到大型磷化工企业手中。通过以上多种方式将区域氟资源优势集聚到磷氟耦合产业园，为产业园的发展提供资源支持。

4.4　提升精细化管理水平

精细化管理水平是关乎磷氟耦合产业园能否实现高质量发展的关键。对于园区管理方而言，应积极对标成熟先进的化工产业园在园区建设、管理制度、运维模式、应急响应、服务保障等方面的内容，进一步提升园区的智慧化运维水平，完善应急与安全管理体系建设，切实有效提升园区管理水平；对于磷化工企业而言，应对标氟化工行业优秀企业，建立起适配的生产管理制度与体系，提升生产过程的精益化水平，优化车间作业环境。同时，积极推动职工技能培训与考核，针对氟化工生产过程中容易出现的事故场景进行应急模拟演练，进一步加强安全生产与质量监管水平。

［参考文献］

［1］ 刘帅杰.磷、氟化工产业的协同发展研究[J].现代化工,2024,44(3):1-4.
LIU S J. Synergistic development of phosphorus and fluorine chemical industries[J]. Modern Chemical Industry,2024,44(3):1-4.

［2］ 刘海霞,杨华春,杨明霞.磷氟协同发展未来思考[J].生态产业科学与磷氟工程,2024,39(6):49-52.
LIU H X,YANG H C,YANG M X. Future considerations for the synergetic development of phosphorus and fluorine[J].Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024,39(6):49-52.

［3］ 张楠,王永怀,陈铅,等.磷矿石伴生氟资源高效利用技术研究进展[J].生态产业科学与磷氟工程,2024,39(8):52-55.
ZHANG N, WANG Y H, CHEN Q, et al. Research progress on efficient utilization technology of fluorine resources associated with phosphate rock[J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024,39(8):52-55.

［4］ 丁青松.引领氟/磷化工绿色发展——记石化绿色工艺之氟硅酸制无水氢氟酸联产白炭黑生产工艺[N/OL].中国化工报,2021-04-23［2025-07-20］. http://www. ccin. com. cn/detail/ffe8f38c65a701c8ed5e5aafac6df79c/news.

［5］ 杨磊.关于磷化工企业布局氟化工业务的思考[J].生态产业科学与磷氟工程,2024,39(12):1-5.
YANG L. Considerations on the integration of fluorine chemical business within phosphorus chemical enterprises[J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024,39(12):1-5.

［6］ 庭静.开阳县磷氟新材料矿化一体化产业园项目:引进新技术　助推贵阳贵安磷及磷化工产业升级[N].贵阳日报,2025-05-09(002).

［7］ 刘帅杰.我国氟化氢的生产现状及发展趋势[J].生态产业科学与磷氟工程,2024,39(10):44-48.
LIU S J. Current status and development trends of hydrogen fluoride production in China[J]. Eco-industry Science & Phosphorus Fluorine Engineering, 2024,39(10):44-48.

［8］ 赵立群.我国氟化工行业现状分析与建议[J].有机氟工业,2021(4):49-53,64.
ZHAO L Q. Present Situation Analysis and Suggestion of Fluorine Chemical Industry in China[J]. Organo-Fluorine Industry, 2021(4):49-53,64.

［9］ 杜春彦,苑帅,尉雪菲.全球萤石资源分布格局与中国产业发展挑战及优化策略研究[J].中国矿业,2025,34(7):324-334.
DU C Y, YUAN S, WEI X F. Distribution pattern of global fluorite resources and the challenges and optimization strategies of China's industrial development[J]. China Mining Magazine, 2025,34(7):324-334.

［10］ 何宾宾,傅英,张儒学,等.湿法磷酸中伴生氟的赋存形态与回

（下转第121页）